Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 12, No. 2, Summer 2022, p. 219-229

Effect of Different Tillage Systems and Deficit Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Sugar Beet

A. Heidari[1*], A. Ghadami Firouzabadi[1]

1- Department of Agricultural Engineering, Research Agricultural and Natural Resource and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Hamadan, Iran
(*- Corresponding Author Email: heidari299@gmail.com)

Received: 25-08-2020
Revised: 23-09-2020
Accepted: 19-10-2020

How to cite this article:
Heidari, A., and A. Ghadami Firouzabadi. 2022. Effect of Different Tillage Systems and Deficit Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Sugar Beet. Journal of Agricultural Machinery 12 (2): 219-229. (In Persian). DOI: 10.22067/jam.v12i2.88341.

Introduction: Conventional tillage is widely used in sugar beet growing areas. However, conventional farming uses more labour and machines that has a negative effect on soil and the environment. Due to limited water resources and recent droughts, proper use of modern tillage and irrigation methods can increase water efficiency and prevent soil degradation as a result of sustainable agriculture.

Materials and Methods: An experiment was conducted to investigate different methods of tillage and water requirements on quantitative and qualitative yield and sugar beet water productivity in the drip irrigation system in Ekbatan Research Station of Hamedan Province from 2018 to 2019. A strip plot experiment with sixteen treatments and three replications was used. Tillage methods in four levels, consisting of T_1- plowing with moldboard plow to a depth of 25-30 cm in autumn + power harrow to a depth of 15-20 cm in spring, T_2- subsoiling to a depth of 35-40 cm + plowing with moldboard plow to a depth of 25-30 cm in autumn + power harrow to a depth of 15-20 cm in spring, T_3- plowing with chisel plow equipped with roller packer to a depth of 25-30 cm in autumn + power harrow to a depth of 15-20 cm in spring and T_4- plowing with sweep plow equipped with roller packer to a depth of 25-30 cm in autumn + power harrow to a depth of 15-20 cm in spring and Irrigation factor consisting of I_1-100%, I_2- 90%, I_3- 80% and I_4- 70% sugar beet water requirement were considered. Soil penetration resistance (PR), the volume of water consumption, root yield, sugar yield, white sugar yield and molasses were measured. Water efficiency in tillage and irrigation treatments was also calculated. MSTAT-C software was used for statistical analysis of data. The Duncan's multiple range test at a 1% probability level was used to compare the means.

Result and Discussion: At a depth of 0-30 cm, no significant difference was observed between tillage methods on soil penetration resistance. At greater depths (35-40 cm) T2 treatment (subsoil + moldboard plow) had the greatest effect in reducing soil resistance. The results showed that the effect of different tillage methods, water requirement and their interactions at the 1% probability level on root yield; sugar yield and white sugar yield were significant. There was no significant difference between sugar beet yield in the T4 tillage treatment and the conventional method (T_1). Treatments T4 (with an average yield of 50686 kg ha^{-1}) and T1 (with an average yield of 50507 kg ha^{-1}) had the highest sugar beet root yield. Also, the tillage method (T_4) compared to the conventional tillage method (T1) reduced fuel consumption by 14.7% and increased field capacity by 52.4% respectively. In the T4 tillage method, irrigation treatments I_{100}, I_{90} and I_{80} with mean water productivity of 6.113, 6.087 and 5.523 kg m^{-3} of water consumption, respectively, had the greatest effect on increasing water productivity, while no significant difference was observed between them.

Conclusion: The tillage method (T_4) compared to the conventional tillage method (T_1) reduced fuel consumption by 14.7% and increased field capacity by 52.4%, respectively. There was no significant difference between sugar beet yield and water productivity in the T4 tillage treatment and the conventional method (T_1). Although full irrigation treatment (100% water requirement) has the highest water efficiency, there is no significant difference between 90 and 80% water requirement treatment. Therefore, in order to save water consumption, 80% water requirement is recommended. The result is that in the T4 tillage method with a supply of 80% water requirement of sugar beet after plant establishment (approximately from the middle of the growing season) about 12% (1207 m^{-3}) in water consumption without significant reduction in water productivity.

Keywords: Chisel plow, Drip irrigation, Power harrow, Soil penetration resistance, Subsoiler

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، ص ۲۲۹-۲۱۹

اثر سامانه‌های خاک‌ورزی و کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب چغندرقند

احمد حیدری[۱*]، علی قدمی فیروزآبادی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

چکیده

خاک‌ورزی مرسوم به‌طور گسترده در مناطق چغندرکاری استفاده می‌شود. به هرحال خاک‌ورزی مرسوم کارگر و ماشین‌های بیشتری استفاده کرده و اثر منفی روی خاک و محیطزیست دارد. بدین‌منظور تحقیقی برای بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی و کم‌آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی و بهره‌وری آب چغندرقند در سامانه آبیاری قطره‌ای در خاکی با بافت متوسط در ایستگاه تحقیقاتی اکباتان استان همدان در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به اجرا درآمد. این تحقیق به‌صورت طرح کرت‌های نواری در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل افقی، روش‌های خاک‌ورزی شامل: T_1- گاوآهن برگرداندار در پاییز+ سیکلوتیلر در بهار (شاهد)، T_2- زیرشکن و گاوآهن برگرداندار در پاییز + سیکلوتیلر در بهار، T_3- خاک‌ورز مرکب (گاوآهن قلمی + غلطک) در پاییز + سیکلوتیلر در بهار، T_4- خاک‌ورز مرکب (گاوآهن چیزل با تیغه‌های پنجه غازی + غلطک) در پاییز+ سیکلوتیلر در بهار و عامل عمودی، تیمار آبی در چهار سطح شامل: I_{100}- تامین ۱۰۰ درصد، I_{90}- تامین ۹۰ درصد، I_{80}- تامین ۸۰ درصد و I_{70}- تامین۷۰ درصد نیاز آبی بود. پارامترهای مقاومت به نفوذ در خاک (شاخص مخروطی خاک)، میزان حجم آب مصرفی، عملکرد ریشه، شکر، شکر سفید و قند ملاس اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی، تیمار آبی و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و بهره‌وری آب معنی‌دار شدند. از نظر آماری اختلاف معنی‌دار بین تیمار T_4 و روش مرسوم (T_1) و تیمار T_2 از نظر عملکرد ریشه چغندرقند مشاهده نشد. تیمارهای T_4 (با میانگین عملکرد ۵۰/۶۸۶ تن در هکتار) وT_1 (با میانگین عملکرد ۵۰/۵۰۷ تن در هکتار) بیشترین عملکرد ریشه چغندرقند را به خود اختصاص دادند. همچنین روش خاک‌ورزی (T_4) نسبت به روش رایج خاک‌ورزی (T_1) به‌ترتیب باعث کاهش۱۴/۷درصدی در مصرف سوخت و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای به میزان۵۲/۴ درصد شد. در روش خاک‌ورزی T4، تیمارهای آبی I_{100}، I_{90} و I_{80} به‌ترتیب با میانگین بهره‌وری آب ۶/۱۱۳، ۶/۰۸۷ و ۵/۵۲۳ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب مصرف آب بیشترین اثر را بر افزایش بهره‌وری آب بر اساس شاخص عملکرد ریشه داشتند. در حالی‌که تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها مشاهده نشد. نتیجه این‌که در روش خاک‌ورزی T_4 با تامین ۸۰٪ نیاز آبی چغندرقند بعد از استقرار گیاه (حدوداً از اواسط فصل رشد) حدود ۱۲٪ (۱۲۰۷ متر مکعب) در مصرف آب بدون کاهش معنی‌دار در بهره‌وری آب بر اساس شاخص عملکرد ریشه صرفه‌جویی کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، زیرشکن، سیکلوتیلر، گاوآهن قلمی، مقاومت به نفوذ در خاک

مقدمه

خاک‌ورزی مرسوم به‌طور گسترده در مناطق چغندرکاری ایران استفاده می‌شود. خاک‌ورزی مرسوم شامل شخم با گاوآهن برگرداندار به همراه چند بار دیسک زدن و تسطیح برای تهیه یک بستر مناسب به‌منظور اطمینان از جوانه‌زنی و استقرار گیاه و در نهایت عملکرد بالا است. پشته‌سازی نیز می‌تواند با توجه به نوع سامانه آبیاری به لیست عملیات خاک‌ورزی اضافه شود. این حجم عملیات می‌تواند اثرات منفی بر خاک و محیطزیست داشته باشد (Hungria *et al*., 2009). برای حل این مسائل محققان در حال مطالعه روی توانایی به‌کارگیری روش‌های نوین خاک‌ورزی در تولید چغندرقند هستند.

نتایج تحقیقات به آیین و همکاران (Behaeen *et al*., 2012) نشان داد استفاده از گاوآهن برگرداندار در عمق ۳۵-۳۰ سانتی‌متر در فصل پاییز به همراه روتوتیلر باعث افزایش درصد سبز شدن (۹۴/۴۲٪)، شاخص سرعت سبز شدن (۴/۹۳٪)، خلوص شربت خام (۸۲/۶۸٪)، عملکرد ریشه (۸۱/۸۱ تن در هکتار) و شکر سفید (۱۱/۸۴ تن در هکتار) در مقایسه با دیگر روش‌های خاک‌ورزی شد. جوانمرد و همکاران (Javanmard *et al*., 2014) گزارش کردند که بیشترین عملکرد قند به میزان ۷/۶۳ تن در هکتار به تیمار زیرشکنی در عمق۴۰-۳۵ سانتی‌متر+ شخم با گاوآهن برگرداندار در عمق۲۰-۱۵ سانتی‌متر تعلق داشت. بدین ترتیب با توجه به نتایج آزمایش، پیشنهاد

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: heidari299@gmail.com)
DOI: 10.22067/jam.v12i2.88341

شد برای تهیه بستر مناسب برای کشت چغندرقند، خاک‌ورزی عمیق با گاوآهن برگرداندار در عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر مدنظر قرار گیرد و در صورت وجود لایه سخت از زیرشکن استفاده شود. مطالعه دیگر نشان داد که تیمارهای مختلف آماده‌سازی بستر کاشت از نظر وزن مخصوص ظاهری خاک و شاخص مخروطی خاک با یکدیگر تفاوت نداشتند و بالاترین عملکرد قند سفید (۱۰/۲۳ تن در هکتار) در روش خاک‌ورزی پاییزه با شخم عمیق + دیسک + لولر و ایجاد ردیف‌های کاشت با پشته‌ساز به‌دست آمد (Mohamadian *et al.*, 2014). صلح‌جو و همکاران (Solhjou *et al.*, 2006) گزارش نمودند که زیرشکنی خاک باعث کاهش شاخص مخروطی و جرم مخصوص ظاهری خاک و افزایش عملکرد چغندرقند می‌شود. همچنین با افزایش دور آبیاری، عملکرد چغندرقند کاهش و درصد قند افزایش می‌یابد. در پژوهشی اثبات شد که خاک بعد از زیرشکنی به‌دلیل استفاده از عملیات زراعی دوباره متراکم می‌شود و درنتیجه فایده به‌کارگیری زیرشکن کاهش یافته و یا کاملاً از بین رفته است (Larney and Fortune, 1986).

برخی از مطالعات گزارش داده‌اند که خاک‌ورزی نواری اثر خوبی در تولید چغندرقند داشته است. به‌عنوان مثال تارکالسون و کینا (Tarkalson and Kina, 2007) گزارش کردند که عملکرد ریشه چغندرقند در خاک‌ورزی نواری مشابه خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد و خاک‌ورزی نواری در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم رواناب را کاهش داد. اِوانس و همکاران (Evans *et al.*, 2009) نشان دادند که در شرایط ایده‌ال، عملکرد چغندرقند در خاک‌ورزی نواری و مرسوم یکسان هستند. ولیکن در سالی که طوفان شدیدی وزید جمعیت گیاه به‌طور چشمگیری در خاک‌ورزی مرسوم کمتر از خاک‌ورزی نواری شد که در نتیجه باعث کاهش عملکرد چغندرقند در خاک‌ورزی مرسوم شد.

میلر و دکستر (Miller and Dexter, 1983) گزارش نمودند در صورت کنترل مناسب علف‌های هرز، عملکرد چغندرقند در سیستم بی‌خاک‌ورزی با سیستم خاک‌ورزی مرسوم برابر می‌شود.

بیشترین عملکرد چغندرقند در خاک‌ورزی مرسوم (Rusu, 2005; Tugrul and Dursum, 2007) و کمترین میزان علف‌هرز در خاک‌ورزی مرسوم (Rusu, 2005) و کمترین مصرف سوخت در کم‌خاک‌ورزی (Rusu, 2005) گزارش شد.

تحقیقات کمی در خصوص بی‌خاک‌ورزی در چغندرقند انجام شده است. یکی از نگرانی‌های مهم در خصوص بی‌خاک‌ورزی در تولید چغندرقند، تراکم خاک است که می‌تواند رشد ریشه را محدود کند. بعضی از مطالعات حساسیت ریشه چغندرقند به فشردگی خاک را اثبات کرده است (Breeton *et al.*, 1986). محققان دیگری اظهار داشتند که فشردگی بیشتر خاک می‌تواند علت کاهش عملکرد چغندرقند در سامانه بی‌خاک‌ورزی باشد (Koch *et al.*, 2009).

به‌علاوه مطالعه دیگری نشان داد که چغندرقند به تراکم خاک حساس نمی‌باشد (Arvidsson *et al.*, 2012). مطالعات کشاورز افشار و همکاران (Keshavarz Afshar *et al.*, 2019) نشان داد که روش خاک‌ورزی (بی‌خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم) اثر معنی‌دار بر استقرار گیاه، عملکرد ریشه و عملکرد شکر نداشت. همچنین هزینه خاک‌ورزی در یک هکتار در روش بی‌خاک‌ورزی، ۱۱۱ دلار کمتر از خاک‌ورزی مرسوم بود. وان دن پوت و همکاران (Van den Putte *et al.*, 2010) با انجام یک تحقیق به روش فراتحلیل[1]، اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی را بر عملکرد محصول در اروپا بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که بی‌خاک‌ورزی باعث کاهش عملکرد چغندرقند می‌شود و از نظر اقتصادی قابل دوام نیست.

چغندرقند از نظر مصرف آب، گیاهی است که نسبت به گیاهانی چون غلات، سیب‌زمینی و پنبه، آب بیشتری مصرف می‌کند (Rahimian, 2002). در پژوهشی بالاترین میانگین عملکرد ریشه از تیمار آبیاری کامل و به میزان ۳۳/۸ تن در هکتار در مقایسه با آبیاری خشکی ناحیه ریشه به میزان ۲۶/۴۳ تن در هکتار به‌دست آمد. بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری از تیمار آبیاری خشکی ناحیه ریشه و ضریب تشتک ۰/۵ و به میزان ۴/۱۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب آب حاصل شد (Ustun *et al.*, 2014). بلوچ و همکاران (Bloch *et al.*, 2006) میزان کارایی مصرف آب چغندرقند را بر اساس کل ماده خشک تولیدی به ازای لیتر آب مصرفی در تیمارهای بدون تنش، تنش متوسط و شدید به‌ترتیب ۶، ۷/۳ و ۷/۴ گرم به‌دست آوردند. همچنین نتایج تحقیق جهاد اکبر و همکاران (JahadAkbar *et al.*, 2003) نشان داد که کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد ریشه، قند ناخالص و سدیم ریشه شده و ازت مضره را افزایش می‌دهد. قدمی فیروزآبادی و میرزایی (Ghadami Firouzabadi and Mirzaei, 2006) گزارش کردند بالاترین کارایی مصرف آب نسبت به عملکرد شکر مربوط به تیمار قطره‌ای ۵۰٪ با ۰/۹۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن مربوط به تیمار قطره‌ای ۱۰۰٪ با ۰/۶۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. مقایسه تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی نشان داد که با کاهش ۱۸ درصدی در مقدار آب مصرفی میزان کارایی مصرف آب ۲۷/۶ درصد افزایش یافت. نورجو و همکاران (Nourjou *et al.*, 2006) با بررسی سطوح مختلف آبیاری و دور آبیاری در زراعت چغندرقند با در نظر گرفتن کارایی مصرف آب بر اساس شکر قابل‌استحصال و پرهیز از سطح آبیاری ۵۰ درصد، آبیاری با دور ۱۰ روز و اعمال ۲۵ درصد کم‌آبیاری را توصیه کردند. بررسی‌های ابراهیمی پاک (Ebrahimipak, 2010) نشان داد مراحل اول، دوم و سوم رشد چغندرقند به‌ترتیب مراحل حساس تا نیمه‌حساس نسبت به تنش آبی هستند. به طوری‌که

1- Meta- analysis

حساس‌ترین آن‌ها، مرحله اول رشد چغندرقند است که اگر مقدار آب قابل دسترس خاک طی این مرحله کاهش یابد، افت شدید عملکرد ریشه و قند قابل استحصال را به دنبال خواهد داشت. جوزی و زارع ابیانه (Jouzi and Zare Abyaneh, 2015) استفاده از ۸۵ درصد نیاز آبی را نسبت به تامین ۱۰۰، ۷۵ و ۶۵ درصد نیاز آبی، برای حصول بیشترین بهره‌وری مصرف آب، در چغندرقند به روش آبیاری جویچه‌ای پیشنهاد دادند. در این پژوهش میزان بهره‌وری آب ریشه و شکر به‌ترتیب ۵ و ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد.

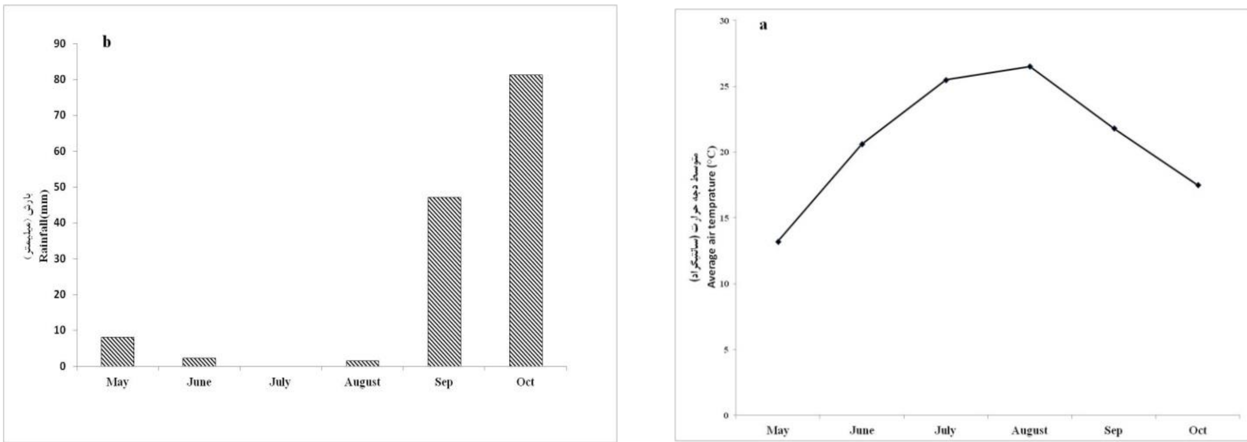
توپاک و همکاران (Topak *et al*., 2010) در پژوهشی نشان دادند که شاخص بهره‌وری آب بر حسب عملکرد ریشه چغندرقند به‌ترتیب ۸/۲ و ۷/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و آبیاری کامل به‌دست آمد.

با توجه به مرور منابع و نتایج به‌دست آمده از بیشتر تحقیقات انجام شده (به‌خصوص پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور)، استفاده از سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی را در محصول چغندرقند به دلیل اثر منفی بر عملکرد، توصیه نکرده‌اند. از طرف دیگر استفاده مداوم از گاوآهن‌های برگرداندار علاوه بر افزایش هزینه‌ها، در درازمدت باعث تخریب خاک و کاهش حاصلخیزی آن خواهد شد. بنابراین دستیابی به یک روش خاک‌ورزی که بتوان آن‌را جایگزین شخم با گاوآهن برگرداندار بدون کاهش معنی‌دار عملکرد محصول نمود ضروری است. همچنین با توجه به گسترش سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در محصول چغندرقند در استان همدان به دلیل خشکسالی‌های اخیر، بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کم‌آبیاری در این سامانه آبیاری حائز اهمیت است. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کم‌آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای بر عملکرد کمی و کیفی و بهره‌وری آب چغندرقند بود.

مواد و روش‌ها

مکان آزمایش

آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقاتی اکباتان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان (۳۲َ و ۴۸ْ طول شرقی و ۵۲َ و ۳۴ْ عرض شمالی) انجام شد. بافت خاک در این مکان لوم رس و ماسه‌دار شامل ۲۵/۳ درصد رس، ۲۹/۲ درصد سیلت و ۴۵/۵ درصد شن و ماده آلی خاک ۰/۳۳ و pH برابر ۸/۰۹ در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک بود. متوسط درجه حرارت ماهانه و نیز میزان بارش ماهانه در طول فصل رشد چغندرقند (اردیبهشت تا مهر ۱۳۹۸) در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- متوسط درجه حرارت ماهانه هوا (الف) و میزان بارش ماهانه کل (ب) در طول فصل رشد چغندقند در سال ۱۳۹۸

Fig.1. Average monthly air temperature (a) and total monthly precipitation (b) during the sugar beet growing season in 2019

طرح آزمایشی

این تحقیق به‌صورت طرح کرت‌های نواری در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل افقی، روش‌های خاک‌ورزی در چهار سطح شامل: T_1- خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار به عمق ۳۰- ۲۵ سانتی‌متر در پاییز + سیکلوتیلر به عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر در بهار، T_2- زیرشکن به عمق ۴۰-۳۵ و گاوآهن برگرداندار به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر در پاییز + سیکلوتیلر به عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر در بهار، T_3- خاک‌ورزی با خاک‌ورز مرکب (گاوآهن چیزل با تیغه‌های قلمی و غلطک) به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر در پاییز + سیکلوتیلر به عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر در بهار و T_4- خاک‌ورزی با خاک‌ورز مرکب (گاوآهن چیزل با تیغه‌های پنجه غازی و غلطک) به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر در پاییز+ سیکلوتیلر به

عمق ۲۰–۱۵ سانتی‌متر در بهار و عامل عمودی، مقدار آبیاری در چهار سطح شامل: I_{100}– آبیاری کامل با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، I_{90}– تامین ۹۰ درصد نیاز آبی، I_{80}– تامین ۸۰ درصد نیاز آبی و I_{70}– تامین۷۰ درصد نیاز آبی با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ) بود. ابتدا در سال ۱۳۹۷ قطعه زمینی به ابعاد ۳۰×۴۰ متر در ایستگاه اکباتان انتخاب شد. کشت سال قبل آن گندم آبی بود. در مهر ۱۳۹۷، تیمارهای خاک‌ورزی اولیه انجام شد (قبل از انجام خاک‌ورزی، مزرعه آزمایشی آبیاری شده و پس از گاورو شدن مبادرت به خاک‌ورزی شد). خاک‌ورزی ثانویه با سیکلوتیلر در بهار سال ۱۳۹۸ برای تمام تیمارها به‌طور یکسان انجام شد. تراکتور مورد استفاده در عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه مسی فرگوسن ۳۹۹ بود. در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۱۷، بذر چغندرقند (رقم شکوفا) به میزان ۲۵۰ هزار بوته در هکتار با بذرکار پنوماتیک شرکت تراشکده (با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بذرها از یکدیگر در روی ردیف ۸ سانتی‌متر) کشت شد (مشخصات فنی ادوات استفاده شده در این پروژه درجدول ۱ ارائه شده است). ضمنا یک سوم کود اوره (معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و تمام کود سوپر فسفات تریپل (۲۵۰کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت (با کارگر) به زمین داده شد. مابقی کود اوره در دو نوبت قبل از گلدهی با تزریق در سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ) به محصول داده شد. اعمال تیمار آبیاری پس از استقرار کامل گیاه در اواسط تیرماه انجام شد. در طول فصل رشد، عملیات تنک کردن و چند نوبت سمپاشی بر علیه علف‌های هرز، آفات و قارچها انجام شد.

جدول ۱– مشخصات فنی ادوات مورد استفاده

Table 1- Technical specification of implements

نوع ماشین **Machine type**	عرض کار **Working witdth**	مشخصات فنی **Technical specification**
گاوآهن برگردان‌دار Moldboard plow	90	سوار شونده، سه خیش، عرض برش هر خیش ۳۰ سانتی‌متر Mounted, three bottom, cut width of each bottom is 30 cm
خاک‌ورز مرکب Combinated tiller	200	مجهز به تیغه‌های قلمی یا پنجه غازی و غلطک، ساخت شرکت ماشین زراعت همدان Equipped with chisel blades or sweep blades and roller, made by Hamedan Agriculture Machine Company
سیکلوتیلر Power harrow	250	مدلHRB 252D، مجهز به غلطک، ساخت شرکت ماشین برزگر همدان Model HRB 252D, equipped with rollers, made by Barzegar Machine Company of Hamadan
بذرکار پنوماتیک Pneumatic planter	150	ساخت شرکت تراشکده، ۴ ردیفه، فاصله بین شیاربازکن‌ها (۵۰سانتی‌متر) Made by Trashkadeh Company, number of furrow openers = 4, distance between furrow openers = 50 cm

اندازه‌گیری‌ها

مقاومت به نفوذ در خاک (شاخص مخروطی خاک)

مقاومت به نفوذ در خاک جهت ارزیابی فشردگی خاک در اواسط فصل رشد (اوایل تیرماه) با استفاده از دستگاه فروسنج، مدل Sp1000 ساخت کشور اسکاتلند با قطر مخروط ۱۲/۸۳ میلی‌متر و زاویه راس۳۰ درجه در ۱۰ نقطه و تا عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک در همان زمان برای استانداردسازی مقاومت به نفوذ در خاک اندازه‌گیری شد (رطوبت خاک بر پایه خشک، با روش اندازه‌گیری مستقیم (برداشت نمونه و سپس خشک کردن در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت) تعیین شد).

نیاز آبی و بهره‌وری آب

جهت محاسبه نیاز آبی، ابتدا داده‌های هواشناسی لازم از جمله حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی هوا، متوسط سرعت باد روزانه، ساعت آفتابی جهت محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن مانتیث به‌صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی مستقر در ایستگاه اکباتان تهیه شد. سپس با در نظر گرفتن ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد و راندمان آبیاری، نیاز آبیاری با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد (Allen *et al*., 1998).

$$ET_C = ET_0 * K_c \quad (۱)$$

$$D_n = (\frac{ETc - Pe}{Ei}) \quad (۲)$$

ET_0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، Kc: ضریب گیاهی، Dn: میزان نیاز آبیاری (mm)، ET_c: تبخیر و تعرق گیاهی (mm)، Pe: میزان بارندگی موثر (mm)، Ei: راندمان آبیاری

تا زمان استقرار کامل گیاه (اواسط تیرماه)، انجام آبیاری در تمام تیمارها به‌صورت یکسان انجام شد. پس از استقرار کامل گیاه اعمال تیمار در تیمارهای کم‌آبیاری به‌صورت درصدی از نیاز آبیاری کامل گیاه (۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی کامل گیاه) اعمال شد. دور آبیاری در این پژوهش به‌صورت چهار روزه انجام و حجم آب آبیاری توسط کنتور برای هر یک از تیمارها اندازه‌گیری شد. شاخص بهره‌وری آب آبیاری با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Owies *et al*., 2004).

$$WP_{ir(y)} = \frac{Yield}{Irrigation} \quad (۳)$$

$WPir_{(y)}$: بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد ریشه یا شکر ($kg.\ m^{-3}$)
Yield: عملکرد ریشه یا شکر ($kg.\ ha^{-1}$)
Irrigation: میزان آب آبیاری (m^3)

عملکرد ریشه و شاخص‌های کیفی چغندرقند

محصول چغندرقند کرت‌ها در تاریخ ۲۱ مهر ۱۳۹۸ برداشت شد. از هر کرت دو خط میانی به طول ۱۲ متر (جمعاً ۶ مترمربع) با کارگر (به‌وسیله بیل) برداشت شد. سپس ریشه‌ها با ترازو وزن شدند. با احتساب نسبت جرم به سطح برداشت شده، عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم (تن) در هکتار به‌دست آمد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و بعد از شستشو و تمیز کردن، عملکرد شکر، شکر سفید و قند ملاس اندازه‌گیری شد (Cambell and Fugate, 2015).

تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل آماری قرارگرفته و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

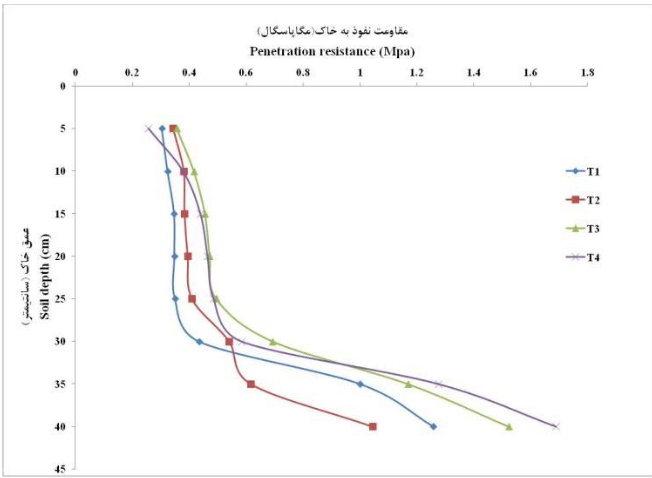
نتایج و بحث

مقاومت به نفوذ در خاک

اثرات روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر مقاومت به نفوذ در خاک در شکل ۲ نشان داده شده است. تا عمق ۳۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری بین روش‌های خاک‌ورزی بر مقاومت نفوذ به خاک مشاهده نشد. در اعماق بیشتر (۴۰-۳۵ سانتی‌متر) تیمار T_2 (زیرشکن+برگردان‌دار) بیشترین اثر را در کاهش مقاومت خاک داشته است که این می‌تواند به دلیل عمق کار زیرشکن باشد. مطالعات کشاورز افشار و همکاران (Keshavarz Afshar *et al*., 2019) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر مقاومت نفوذ به خاک در لایه‌های فوقانی خاک (۱۲-۰ سانتی‌متر) مشاهده نشد. در مقابل در لایه‌های عمیق‌تر، اثر روش‌های خاک‌ورزی بر مقاومت به نفوذ به خاک معنی‌دار بود. در لایه میانی ۲۲-۱۲ سانتی‌متر، مقاومت به نفوذ در خاک در خاک‌ورزی نواری بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود. در لایه‌های عمیق‌تر (۴۵-۲۲ سانتی‌متر) مقاومت نفوذ به خاک در خاک‌ورزی مرسوم بیشتر از خاک‌ورزی نواری و بی‌خاک‌ورزی بود.

صلحجو و همکاران (Solhjou *et al.*, 2006) و قاسمی عبدالملکی و همکاران (Ghasemi Abdolmaleki *et al*., 2015) نیز گزارش کردند که زیرشکنی باعث کاهش مقاومت خاک می‌شود. صرف‌نظر از روش خاک‌ورزی، مقدار مقاومت به نفوذ در خاک بیشتر از ۱/۷ مگاپاسگال نشد (شکل ۲) که این مقدار کمتر از آستانه ۲ مگاپاسگال می‌باشد که می‌تواند اثرات منفی روی جوانه‌زنی و توسعه ریشه چغندرقند داشته باشد (Bengough *et al*., 2011). بنابراین خاک‌ورز مرکب نیز توانسته است حداقل گسیختگی لازم را در خاک برای توسعه ریشه و غده‌های چغندرقند ایجاد کند.

مطالعات طولانی مدت نیاز است که دقت اثر روش‌های خاک‌ورزی روی مقاومت به نفوذ در خاک اثبات شود (Keshavarz afshar *et al*., 2019).



شکل ۲– اثر روش‌های خاک‌ورزی بر مقاومت به نفوذ در خاک در عمق‌های مختلف خاک در اواسط فصل رشد چغندرقند

(T_1– گاوآهن برگرداندار + سیکلوتیلر، T_2– زیرشکن + گاوآهن برگرداندار + سیکلوتیلر، T_3– خاک‌ورز مرکب (گاوآهن چیزل با تیغه‌های قلمی و غلطک) + سیکلوتیلر و T_4– خاک‌ورز مرکب (گاوآهن چیزل با تیغه‌های پنجه غازی و غلطک) + سیکلوتیلر)

Table 2- Effect of tillage on soil penetration resistance at various soil depths measured in the middle of the sugar beet growing season

(T_1- Moldboard plow+Power harrow, T_2- Subsoiler+Moldboard plow+ Power harrow, T_3- Sweep plow equipped with roller+Power harrow and T_4- Chisel plow equipped roller+Power harrow)

عملکرد کمی و کیفی چغندرقند

اثر خاک‌ورزی و آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، عملکرد قند ملاس در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. از نظر اثر روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد ریشه، تیمارهای خاک‌ورزی T_4، T_1 و T_2 در یک کلاس آماری قرار گرفتند و تیمار T_4 و T_3 به‌ترتیب بیشترین (۵۰/۶۸۶ تن در هکتار) وکمترین (۴۱/۰۳۱ تن در هکتار) عملکرد ریشه را به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد کمی و کیفی چغندرقند در تیمارهای مختلف

Table 2- Mean comparison of quantitative and qualitative yield of sugar beet in different tillage treatments

خاک‌ورزی Tillage		عملکرد ریشه Root yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد شکر Sugar yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد شکر سفید White sugar yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد قند ناخالص (ملاس) Molasses yield ($t.ha^{-1}$)
T_1		50.507^{a}	7.820 ^{a}	6.065 ^{a}	1.452^{a}
T_2		49.262 ^{a}	7.442 ^{b}	5.749 ^{ab}	1.397 ^{b}
T_3		41.031 ^{b}	4.920 ^{c}	4.609 ^{c}	1.065 ^{d}
T_4		50.686 ^{a}	7.380 ^{b}	5.642 ^{b}	1.267 ^{c}
آبیاری Irrigation					
I_{100}		54.051 ^{a}	8.067 ^{a}	6.209 ^{a}	1.534^{a}
I_{90}		50.821 ^{b}	7.685 ^{b}	5.899 ^{a}	1.481 ^{a}
I_{80}		45.918 ^{c}	6.675 ^{c}	5.084 ^{b}	1.149 ^{b}
I_{70}		40.695^{d}	6.134 ^{d}	4.872^{b}	1.017 ^{c}
خاک‌ورزی Tillage	آبیاری Irrigation				
T_1	I_{100}	55.828^{b}	9.211 ^{a}	7.381 ^{a}	1.496 ^{abcd}
	I_{90}	51.833^{cd}	7.671 ^{cd}	5.712 ^{cde}	1.648 ^{ab}
	I_{80}	49.467^{de}	7.123 ^{efg}	5.317 ^{e}	1.508^{abcd}
	I_{70}	44.900 ^{gh}	7.274 ^{def}	5.850 ^{cd}	1.154 ^{bcdefg}
T_2	I_{100}	52.237 ^{c}	7.759 ^{c}	5.793 ^{cd}	1.656 ^{ab}
	I_{90}	51.334 ^{cd}	7.572 ^{cd}	5.518 ^{de}	1.745 ^{a}
	I_{80}	47.278 ^{efg}	6.974 ^{fg}	5.697 ^{cde}	0.993 ^{defg}
	I_{70}	46.200 ^{fg}	7.461 ^{cde}	5.987 ^{c}	1.196 ^{bcdefg}
T_3	I_{100}	47.139^{efg}	6.270 ^{h}	4.624 ^{f}	1.362 ^{abcdef}
	I_{90}	43.011 ^{h}	6.817 ^{g}	5.462 ^{de}	1.096 ^{cdefg}
	I_{80}	38.495 ^{i}	5.678 ^{i}	4.573 ^{f}	0.874 ^{fg}
	I_{70}	35.478 ^{j}	4.914 ^{j}	3.775 ^{g}	0.926 ^{efg}
T_4	I_{100}	61.000 ^{a}	9.028 ^{ab}	7.039 ^{ab}	1.623 ^{abc}
	I_{90}	57.111^{b}	8.681 ^{b}	6.905^{b}	1.433 ^{abcde}
	I_{80}	48.433 ^{ef}	6.926 ^{fg}	4.748 ^{f}	1.220 ^{abcdefg}
	I_{70}	36.200 ^{ij}	4.887 ^{j}	3.877 ^{g}	0.793 ^{g}

اعداد هر ستون که دارای حرف‌های یکسانی هستند تفاوت آماری بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ ندارند.

Numbers, in each column, followed by the same letter(s) have not significantly different at 1% of probability level– using Duncan's Multiple Rang Test.

تیمار T_3 نسبت به بقیه تیمارهای خاک‌ورزی کمتر باعث گسیختگی خاک شده است (شکل ۱) که می‌تواند از علل کمتر بودن عملکرد ریشه چغندرقند در این تیمار باشد. بیشرین عملکرد چغندرقند در مطالعات به آئین و همکاران (Behaeen *et al*., 2012)، جوانمرد و همکاران (Javanmard *et al*., 2014) و محمدیان و همکاران (Mohamadian *et al*., 2014) با گاوآهن برگرداندار گزارش شده است. همچنین مطالعات روسو (Rusu, 2005) و تورگل و دورسام (Tugrul and Dursum, 2007) نشان داد که بیشترین عملکرد چغندرقند با روش خاک‌ورزی مرسوم حاصل شده است. در حالی‌که بیشترین عملکرد ریشه چغندرقند در تحقیق حاضر با خاک‌ورز مرکب (T_4) به‌دست آمد و آن می‌تواند به‌دلیل گسیختگی مناسب در خاک توسط این وسیله و نیز به‌کارگیری دستگاه سیکلوتیلر جهت تهیه بستر بذر باشد. جایگذاری دقیق بذر در تولید چغندرقند مرحله بحرانی می‌باشد و با توجه به این‌که عملیات کاشت توسط بذرکار پنوماتیک انجام شد و این دستگاه جهت کارآیی مناسب (جای‌گذاری دقیق بذر در خاک) نیاز به یک بستر مناسب دارد بنابراین استفاده از سیکلوتیلر توانست این شرایط را در خاک مهیا نماید. با توجه به این‌که در زراعت آبی، حجم بقایا زیاد است بنابراین برای موفقیت سامانه‌های

خاک‌ورزی حفاظتی نیاز به کارنده مناسب در این شرایط می‌باشد (Keshavarz Afshar *et al.*, 2019). تیمار خاک‌ورزی T_1 بیشترین عملکرد شکر (۷/۸۲۰ تن در هکتار) و شکر سفید (۶/۰۶۵ تن در هکتار) را به خود اختصاص داد. نتیجه به‌دست آمده با گزارشات به آئین و همکاران (Behaeen *et al.*, 2012)، جوانمرد و همکاران (Javanmard *et al.*, 2014) و محمدیان و همکاران (Mohamadian *et al.*, 2014) مبنی بر افزایش عملکرد شکر در روش خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگرداندار) هماهنگ است. آبیاری کامل (تامین ۱۰۰٪ نیاز آبی) نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری، بیشترین عملکرد ریشه و شکر را داشت. نتایج به‌دست آمده با گزارش سایر محققین (Ustun *et al.*, 2004; Jahad Akbar *et al.*, 2003; Mirzaei and Rezvani, 2012; Noujou *et al.*, 2006; Solhjou *et al.*, 2006) مبنی بر بیشترین عملکرد چغندرقند با آبیاری کامل مطابقت دارد. یوکان و گِن‌کوگلان (Ucan and Gencoglan, 2004) نیز گزارش کردند که بین عملکرد چغندرقند و مقدار مصرف آب آبیاری رابطه خطی وجود دارد یعنی با افزایش مصرف آب، عملکرد چغندرقند نیز افزایش می‌یابد. تیمار T_4I_{100} بیشترین عملکرد ریشه را در بین تیمارها داشت (جدول ۲). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار ۹۰ درصد نیاز آبی با تیمار آبیاری کامل از نظر میزان عملکرد شکر سفید تفاوت معنی‌داری نداشت. نتیجه به‌دست آمده با گزارش یوکان و گِن‌کوگلان (Ucan and Gencoglan, 2004) مبنی بر افزایش عملکرد شکر با کاهش مصرف آب منطبق است.

بهره‌وری آب

مقدار مصرف آب در تیمار آبیاری ۱۰۰، ۹۰، ۸۰ و ۷۰٪ به‌ترتیب ۹۹۸۱، ۹۳۷۷، ۸۷۷۴ و ۸۱۷۱ مترمکعب در هکتار بود. نتایج نشان داد اثر خاک‌ورزی، آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها بر بهره‌وری آب بر اساس شاخص عملکرد ریشه، عملکرد شکر، شکر سفید و قند ملاس) معنی‌دار شدند (جدول ۳). روش‌های خاک‌ورزی T_1، T_2 و T_4 از نظر بهره‌وری آب بر اساس عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید در یک کلاس آماری قرار گرفتند. تیمار T_3 کمترین بهره‌وری آب بر اساس شاخص‌های عملکرد ریشه و شکر سفید را به خود اختصاص داد. این امر به علت عملکرد کمتر ریشه در تیمار T_3 می‌باشد.

تیمارهای آبی I_{100}، I_{90} و I_{80} به‌ترتیب بیشترین اثر را بر افزایش بهره‌وری آب بر اساس شاخص عملکرد ریشه داشتند (جدول ۳). در حالی‌که تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها مشاهده نشد. بنابراین در صورت تامین ۸۰ درصد نیاز آبی بعد از استقرار گیاه کاهش معنی‌داری در بهره‌وری آب نسبت به تامین کامل نیاز آبی حاصل نمی‌شود. بالا بودن کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی به این دلیل است که گیاه در شرایط تنش فقط در زمان‌هایی اقدام به باز کردن روزنه‌ها و انجام تثبیت دی‌اکسید کربن می‌کند که کمبود فشار بخار اتمسفر کاهش یافته باشد در این وضعیت گیاه برای تولید هر واحد ماده خشک آب کمتری را از دست می‌دهد (Clover *et al.*, 2001). قدمی فیروزآبادی و میرزایی (Ghadami Firouzabadi and Mirzaee, 2006) و توپاک و همکاران (Topak *et al.*, 2010) تیمار آبی تامین ۷۵ درصد نیاز آبی و جوزی و زارع آبیانه (Jouzi and Zare Abyane, 2014) تامین ۸۵ درصد نیاز آبی را برای حصول بیشترین بهره‌وری آب در چغندرقند پیشنهاد دادند. تیمار I_{70} کمترین بهره‌وری آب بر اساس این شاخص را داشت. دلیل آن کمتر بودن عملکرد ریشه در این تیمار می‌باشد. یوکان و گِن‌کوگلان (Ucan and Gencoglan, 2004) گزارش کردند که کارآیی مصرف آب آبیاری و کارآیی مصرف آب با مقدار آب آبیاری استفاده شده تغییر می‌کند.

اثر تیمارهای آبی بر شاخص‌های بهره‌وری آب بر اساس عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید معنی‌دار بود. تیمارهای نیاز آبی I_{90} و I_{100} به‌ترتیب بیشترین بهره‌وری آب بر اساس شاخص‌های عملکرد شکر و شکر سفید را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). نورجو و همکاران (Noujou *et al.*, 2006) تامین ۷۵ درصد نیاز آبی را برای حصول بیشترین کارآیی مصرف آب بر اساس عملکرد شکر در سامانه آبیاری بارانی پیشنهاد دادند.

مصرف سوخت و ظرفیت مزرعه‌ای موثر

سامانه‌های خاک‌ورزی T_3 و T_4 کمترین مصرف سوخت و بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). تیمار T_4 نسبت به روش مرسوم (تیمار T_1) باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت به میزان ۱۴/۷ درصد و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای به مقدار ۵۲/۴ درصد شد (جدول ۴). ظرفیت مزرعه‌ای تابعی از سرعت، عرض کار وسیله و راندمان زراعی می‌باشد. ظرفیت مزرعه‌ای بیشتر در خاک‌ورزهای مرکب مربوط به سرعت و عرض کار بیشتر نسبت به گاوآهن برگرداندار و زیرشکن می‌باشد. خاک‌ورزهای مرکب به دلیل زمان مصرفی کمتر در واحد سطح و نیز مصرف توان مالبندی نسبتاً پایین‌تر انرژی کمتری را نسبت به گاوآهن برگردان‌دار و زیرشکن دارند. صرفه‌جویی در مصرف سوخت در خاک‌ورزهای حفاظتی نسبت به گاوآهن برگرداندار توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (Rusu, 2005; Afzalinia *et al.*, 2019; Younesi Alamouti and Sharifi, 2011).

جدول ۳- مقایسه میانگین بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف

Table 3- Mean comparison of water productivity in different tillage treatments

خاک‌ورزی Tillage		**بهره‌وری آب بر اساس عملکرد ریشه** **Water productivity based on root yield ($kg.\ m^{-3}$)**	**بهره‌وری آب بر اساس عملکرد شکر** **Water productivity based on sugar yield ($kg.\ m^{-3}$)**	**بهره‌وری آب بر اساس عملکرد شکر سفید** **Water productivity based on White sugar yield ($kg.\ m^{-3}$)**	**بهره‌وری آب بر اساس عملکرد قند ناخالص (ملاس)** **Water productivity based on Molasses yield ($kg.\ m^{-3}$)**
T_1		5.563[a]	0.863 [a]	0.668 [a]	0.160 [a]
T_2		5.429 [a]	0.823 [ab]	0.638 [a]	0.153 [a]
T_3		4.509 [b]	0.651 [c]	0.507 [b]	0.117 [c]
T_4		5.103 [a]	0.805 [b]	0.634 [a]	0.138 [b]
آبیاری Irrigation					
I_{100}		5.408[a]	0.808[ab]	0.622 [ab]	0.154 [a]
I_{90}		5.337 [ab]	0.820 [a]	0.629 [a]	0.158 [a]
I_{80}		5.233 [ab]	0.761 [bc]	0.599 [b]	0.131 [b]
I_{70}		4.980 [b]	0.751 [c]	0.596 [b]	0.124 [b]
خاک‌ورزی Tillage	آبیاری Irrigation				
T_1	I_{100}	5.593[ab]	0.923 [a]	0.740 [a]	0.150 [def]
	I_{90}	5.530 [ab]	0.818 [b]	0.609 [bc]	0.176 [ab]
	I_{80}	5.633 [ab]	0.812 [b]	0.606 [bc]	0.172[b]
	I_{70}	5.493 [ab]	0.890 [a]	0.716 [a]	0.141 [ef]
T_2	I_{100}	5.200 [bc]	0.777 [bc]	0.580 [c]	0.166 [bc]
	I_{90}	5.477 [bc]	0.807 [b]	0.588 [c]	0.186 [a]
	I_{80}	5.387 [b]	0.795 [bc]	0.649 [b]	0.113 [gh]
	I_{70}	5.653 [ab]	0.913 [a]	0.733 [a]	0.146 [ef]
T_3	I_{100}	4.723 [cd]	0.628 [d]	0.463 [e]	0.136 [f]
	I_{90}	4.587 [cd]	0.727 [c]	0.582 [c]	0.117 [g]
	I_{80}	4.387 [d]	0.647 [d]	0.521 [d]	0.099 [hi]
	I_{70}	4.340 [d]	0.601 [d]	0.462 [e]	0.113 [gh]
T_4	I_{100}	6.113 [a]	0.904 [a]	0.706 [a]	0.163 [bcp]
	I_{90}	6.087 [a]	0.926 [a]	0.737 [a]	0.153 [cde]
	I_{80}	5.523 [ab]	0.790 [bc]	0.617 [bc]	0.139 [ef]
	I_{70}	4.433 [d]	0.598 [d]	0.474 [de]	0.097 [i]

اعداد هر ستون که دارای حرف‌های یکسانی هستند تفاوت آماری بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ ندارند.

Numbers, in each column, followed by the same letter(s) have not significantly different at 1% of probability level –using Duncan's Multiple Rang Test.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر روش های خاک‌ورزی بر مصرف سوخت و ظرفیت مزرعه‌ای موثر

Table 4- Mean comparison of the effect of tillage methods on fuel consumption and effective field capacity

خاک‌ورزی Tillage	**مصرف سوخت** **Fuel consumption ($L.ha^{-1}$)**	**ظرفیت مزرعه‌ای موثر** **Effective field capacity ($ha.hr^{-1}$)**
T_1	53[b]	0.208[b]
T_2	74.5[a]	0.136[a]
T_3	44.3[c]	0.344[c]
T_4	45.2[c]	0.317[c]

اعداد هر ستون که دارای حرف‌های یکسانی هستند تفاوت آماری بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ ندارند.

Numbers, in each column, followed by the same letter(s) have not significantly different at 1% of probability level –using Duncan's Multiple Rang Test.

نتیجه‌گیری

روش خاک‌ورزی (T_4) نسبت به روش رایج خاک‌ورزی (T_1) به‌ترتیب باعث کاهش ۱۴/۷درصدی در مصرف سوخت و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای به میزان ۵۲/۴ درصد شد. عملکرد چغندرقند و

بهره‌وری آب در تیمار خاک‌ورزی T4 و روش مرسوم (T1) اختلاف معنی‌داری نداشتند. در روش خاک‌ورزی T4، تیمارهای آبی I_{100}، I_{90} و I_{80} به‌ترتیب با میانگین بهره‌وری آب ۶/۱۱۳، ۶/۰۸۷ و ۵/۵۲۳ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب مصرف آب بیشترین اثر را بر افزایش بهره‌وری آب بر اساس شاخص عملکرد ریشه داشتند. در حالی‌که که تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها مشاهده نشد. نتیجه این‌که در روش خاک‌ورزی T_4 با تامین ۸۰ ٪ نیاز آبی چغندرقند بعد از استقرار گیاه (حدودا از اواسط فصل رشد) حدود ۱۲٪ (۱۲۰۷ متر مکعب) در مصرف آب بدون کاهش معنی‌دار در بهره‌وری آب بر اساس شاخص عملکرد ریشه صرفه‌جویی کرد.

References

1. Afzalinia, S., A. Karami, and S. M. Alavimanesh. 2019. Effects of tillage systems on soil properties, fuel consumption and wheat yield in the wheat-sesame rotation. Journal of Soil Research 33 (4): 441-455.
2. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irriggation and Drainage Paper 56. 300 pp.
3. Arvidsson, J., E. Bolenius, and K. M. V. Cavalieri. 2012. Effects of compaction during drilling on yield of sugarbeet (*Beta vulgaris* L.). European Journal of Agronomy 39: 44-51.
4. Behaeen, M. A., G. R. Ashraf Mansouri, and F. Hamdi. 2012. Effect of different tillage methods in monogerm seedbed preparation on yield and quality of sugar beet. Journal of Sugar Beet 28: 123-135. (In Persian).
5. Bengough, G., B. M. Mckenzie, P. D. Hallett, and T. A. Valentine. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. Journal of Experimental Botany 62 (1): 59-68.
6. Bloch, D., C. M. Hoffmann, and B. Märländer. 2006. Impact of water supply on growth, photosynthesis, water use and carbon isotope discrimination of sugar beet in relation to genotypic variability. European Journal of Agronomy 24: 218-225.
7. Brereton, J. C., M. McGowan, and T. C. K. Dawkins. 1986. The relative sensitivity of spring barley, spring field beans, and sugar beet crops to soil compaction. Field Crop Research 13: 223-237.
8. Campbell, L. G., and K. K. Fugate. 2015. Relationships among impurity components, sucrose, and sugar beet processing qulity. Journal of Sugar beet Research 52: 2-21.
9. Clover, G. R. G., K. W. Jaggard, H. G. Smith, and S. N. Azam-Ali. 2001. The use of radiation interception and transpiration to predict the yield of healthy, droughted and virus-infected sugar beet. Journal of Agricultural Science 136 (02): 169-178.
10. Ebrahimipak, N. A. 2010. Determination of yield response factor (Ky) of sugar beet to deficit irrigation at different growth stages. Journal of Sugar Beet 26 (1): 67-79. (In Persian).
11. Evans, R. G., W. B. Stevens, and W. M. Iversen. 2009. Development of strip tillage on sprinkler irrigated sugar beet. Applied Engineering in Agriculture 26 (1): 59-69.
12. Ghadami Firouzabadi, A., and M. R. Mirzaeai. 2006. Investigation effects of tricle irrigation (Tape) on quantity and quality of sugar beet. Pajouhesh & Sazandegi 71: 6-11. (In Persian).
13. Ghasemi Abdolmaleki, A., G. Sepanloo, and M. A. Bahmanyar. 2015. Investigating the effect of different tillage methods on some physical properties of soil. Journal of Soil Research 29 (3): 309-320. (In Persian).
14. Hungria, M., J. C. Franchini, O. Brandao-Junior, G. Kaschuk, and R. A. Souza. 2009. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil tillage and two crop-rotation systems. Applied Soil Ecology 42 (3): 288-296.
15. JahadAkbar, M., H. R. Ebrahimian, M. Torabi, and J. Gohari. 2003. Effect of water deficit on sugar beet quality and quantity in Kabotarabad-Esfahan. Journal of Sugar Beet 19: 81-100. (In Persian).
16. Javanmard, A., G. R. Gahramanian, K. Fotouhi, and A. Asadi Danalo. 2014. Evaluation of different tillage methods on soil physical properties and growth characteristics of sugar beet (*Beta vaulgaris* L.). Research in Crop Ecosystems 3: 83-94. (In Persian).
17. Jouzi, M., and H. Zare Abyaneh. 2015. Water productivity and water use efficiency indexes of sugar beet under different levels of water and nitrogen fertilizer. Journal of Water and Soil Conservation 22 (5): 117-133. (In Persian).
18. Keshavarz afshar, R., A. Nilahyane, C. Chen, H. He, W. B. Stevens, and W. M. Iversen. 2019. Impact of conservation tillage and nitrogen on sugar beet yield and quality. Soil & Tillage Research 191: 216-223.
19. Koch, H. J., J. Dieckmann, A. Buches, and B. Marlander. 2009. Yield decrease in sugar beet caused by reduced tillage and direct drilling. European Journal of Agronomy 30 (2): 101-109.
20. Larney, F. J., and R. A. Fortune. 1986. Recompaction effects of moldboard ploughing and seedbed cultivations on four deep loosened soils. Soil & Tillage Research 8: 77-87.
21. Miller, S. D., and A. G. Dexter. 1983. No-tillage sugar beet production. Sugar beet Research and Extension Reports 21: 124-25.

22. Mirzaei, M. R., and S. Rezvani. 2012. Effects of deficit irrigation levels at four growth stages on yield and quality of sugar beet. Iranian Journal of Crop Sciences 14: 94-107. (In Persian).
23. Mohamadian, R., M. Younesi Alamouti, A. Nourozi, S. Abbasi, and H. Noushad. 2014. Effects of some seedbed preparation methods on the soil physical properties and sugar beet yield and quality. Seed and Plant Journal 30: 277-295. (In Persian).
24. Nourjou, A., F. Abbasi, A. Jodaei, and M. Baghaei Kia. 2006. The effect of deficit irrigation on the quality and quantity of sugar beet in Miandoab region. Journal of Sugar Beet 22: 53-66. (In Persian).
25. Oweis, T., A. Hachum, and M. Pala. 2004. Water use efficiency of winter- sown chickpea under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management 66: 163-179.
26. Rahimian, M. H. 2002. Determining the water requirement of sugar beet by lysimetric method. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Journal No. 347/81. (In Persian).
27. Rusu, T. 2005. The influence of minimum tillage systems upon the soil properties, yield and energy efficiency in some arable crops. Journal of Central European Agriculture 6 (3): 287-294.
28. Solhjou, A. A., A. Dehghanian, A. Sepaskhah, and M. Niroman Jahromi. 2006. Effect of subsoiling physical properties and sugar beet yield. Journal of Agricultural Engineering Research 25: 131-144. (In Persian).
29. Tarkalson, D. D., and B. A. King. 2017. Effects of tillage and irrigation management on sugarbeet production. Agronomy Journal 109: 2396-2406.
30. Topak, R., S. Suheri, and B. Acar. 2010. Comparison of energy of irrigation regimes in Sugar beet production in a semi-arid region. Energy 35: 5464-5471.
31. Tugrul, K. M., and I. Dursun. 2007. Tillage effect on yield, quality, management and cost of sugar beet. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 38 (2): 38-41.
32. Ucan, K., and C. Gencoglan. 2004. The effect of water deficit on yield and yield components of sugar beet. Turk Journal Agricultural 28: 163-172.
33. Ustun, S., O. Selda, M. K. Fatih, and K. Yasemin. 2014. Evaluation of water use and yield responses of drip-irrigated sugar beet with different irrigation techniques. Chilean Journal of Agricultural Research 74 (3): 302-310.
34. Van den Putte, A., G. Govers, J. Diels, K. Gillijns, and M. Demuzere. 2010. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: a meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. European Journal of Agronomy 33: 231-241.
35. Younesi Alamouti, M., and A. Sharifi. 2011. Investigation and determination of power required fuel and some physical properties of soil in several tillage methods. Journal of Agricultural Machinery 2 (1):11-18. (In Persian).